



**SCIENCE.
OLYMPIAD.CH**
WISSENSCHAFTS-OLYMPIADE
OLYMPIADES DE LA SCIENCE
OLIMPIADI DELLA SCIENZA



**PHYSICS.
OLYMPIAD.CH**
PHYSIK-OLYMPIADE
OLYMPIADES DE PHYSIQUE
OLIMPIADI DELLA FISICA

Olympiades de Physique 2024, Aarau, 9.3.2024

Exercice expérimental Effets thermoélectrique

Durée: 180 Minutes

Nombre de points maximal : 48

Aides autorisées Calculatrice sans mémoire de formule
Matériel pour écrire et dessiner

Contenu

1	liste des matériaux	2
2	Effets thermoélectriques : Introduction	3
3	Description quantitative de l'effet Peltier	4
4	Description du matériel	5
	Tâche 1	7
	Tâche 2	8
	Tâche 3	9
	Tâche 4	10
	Tâche 5	11
	Appendix	12

Olympiades de Physique est soutenue par :

Supported by :



1. 1. liste de matériel (Fig ...)

Le matériel suivant est à disposition pour les expériences

- Planche avec montage de mesure, indicateur de température et résistance à fil
- bloc d'alimentation VOLTcraft ou bloc d'alimentation PeakTec
(voir APPENDIX A1 ou A2)
- Bloc d'alimentation 10 V pour la mesure de la température et le ventilateur
(bloc d'alimentation)
- 2 câbles avec fiches bananes (rouge/bleu) avec pince
- 2 câbles avec fiches bananes (rouge/bleu) avec pince
- 2 câbles avec fiches bananes des deux côtés
- 1 pince crocodile
- Multimètre
- Boîte en carton pour couvrir les LED
- Papier pour les évaluations graphiques

Consigne de sécurité

Les câbles avec fiches bananes ne doivent être branchés que sur le bloc d'alimentation, le dispositif expérimental et le multimètre. Ils ne doivent jamais être utilisés sur la prise secteur : **Danger de mort !**

2. Les effets thermoélectriques : Introduction

Dans les expériences suivantes, deux phénomènes thermoélectriques seront étudiés. Il s'agit de l'effet Seebeck et de l'effet Peltier. L'effet Seebeck est utilisé pour déterminer l'efficacité d'une LED.

Effet Peltier

Un courant électrique I circule à travers un circuit en série de deux métaux ou semi-conducteurs différents, comme le montre la figure 1. Ce courant électrique est lié au transport de chaleur par les électrons. Ce transport de chaleur dépend des propriétés du métal (ou du semi-conducteur). Nous supposons que le flux de chaleur dans le métal 2 est plus important que dans le métal 1 (indiqué par les flèches). Cela a pour conséquence que le point de contact A reçoit moins de chaleur qu'il n'en perd, et que c'est exactement l'inverse pour le point de contact B. En conséquence, le point de contact A se refroidit et B se réchauffe. Il y a un transfert net de chaleur du point de contact A vers le point de contact B. Les flux de chaleur

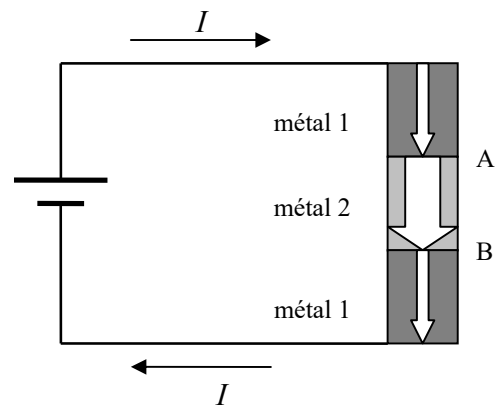


Fig. 1

sont, dans une bonne approximation, proportionnels au courant électrique. Cet effet est appelé effet Peltier. Lorsque le sens du courant est inversé, le sens des flux de chaleur change également.

Les éléments Peltier sont utilisés par exemple pour refroidir des détecteurs ou des circuits électroniques. Leur efficacité est trop faible pour les réfrigérateurs ou des pompes à chaleur.

Effet Seebeck

La disposition des métaux est identique à celle de la figure 2. Si les points de contact A et B ne sont pas à la même température, une tension électrique U apparaît aux bornes des métaux 1. Cet effet est appelé effet Seebeck.

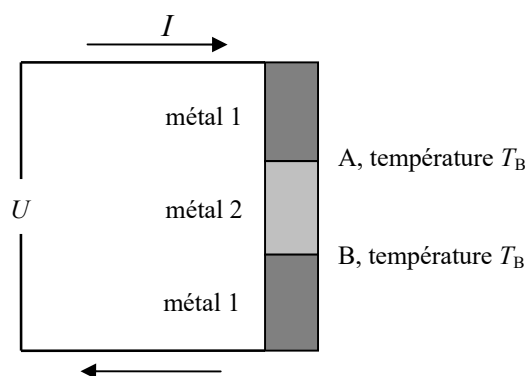


Fig. 2

Description quantitative de l'effet Peltier

Différents flux de chaleur apparaissent dans un module Peltier parcouru par un courant électrique. Le côté froid (resp. chaud) est désigné par C (resp. H). Les flux de chaleur sont des puissances et ont pour unité $[P] = \text{J/s} = \text{W}$.

Pour les considérations qui suivent, nous utilisons un modèle simplifié, mais qui permet de saisir les principaux phénomènes.

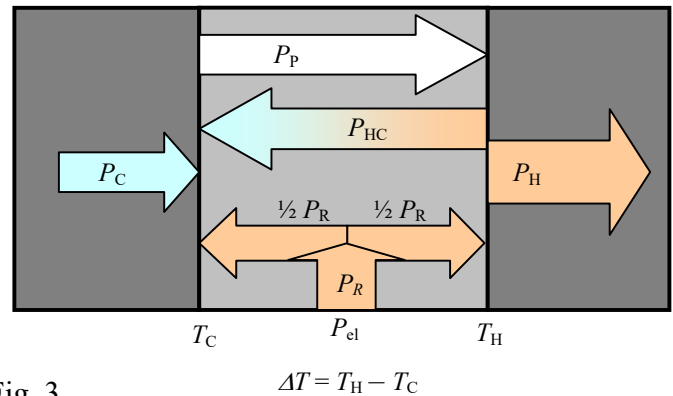


Fig. 3

Nous considérons les différents flux de chaleur suivant (voir figure 3) :

1. Flux de chaleur par effet Peltier $P_P = \Pi \cdot I$ (Π : coefficient Peltier)
2. Flux de chaleur par conduction thermique du module Peltier $P_{HC} = \Lambda \cdot \Delta T$
3. Flux de chaleur générée par l'effet Joule du courant électrique dans la résistance R du module Peltier : $P_R = R \cdot I^2$.
Cette chaleur s'écoule à parts égales vers le côté chaud (H) et le côté froid (C).
4. Charge thermique du côté froid (effet utile) P_C (cette puissance thermique pourrait par exemple provenir d'un élément électronique à refroidir).

Les chaleurs entrantes (resp. sortantes) de l'interface froide sont comptées positivement (resp. négativement), le bilan doit être $= 0$.

$$P_C + P_{HC} + \frac{1}{2} P_R - P_P = 0, \quad (1)$$

exprimé avec les grandeurs ΔT , R , Π , Λ et I

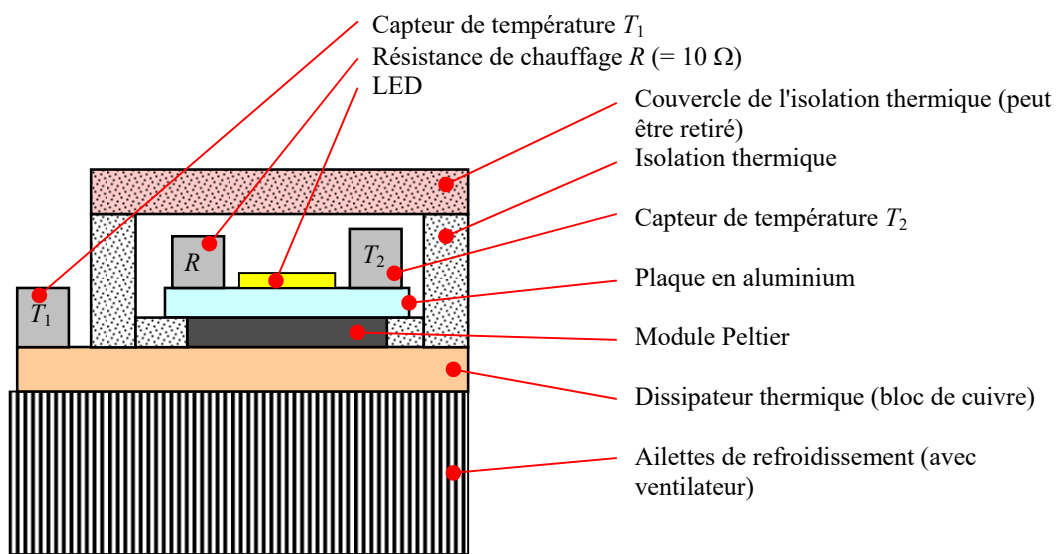
$$P_C + \Lambda \cdot \Delta T + \frac{1}{2} R \cdot I^2 - \Pi \cdot I = 0. \quad (2)$$

Ce calcul tient compte du fait que la moitié de la chaleur générée par l'effet Joule P_R s'écoule vers le côté chaud et que l'autre moitié s'écoule vers le côté froid.

4 Matériel

4.1 Structure du dispositif de mesure (schématique)

Le module Peltier est monté sur un radiateur auquel il peut transmettre de la chaleur (la température de ce côté est mesurée par le capteur T_1 , le radiateur est refroidi par un ventilateur). Une plaque d'aluminium est montée de l'autre côté du module Peltier. Sur celle-ci sont montés en contact thermique une résistance chauffante R , une LED et un capteur de température T_2 . Une isolation thermique est placée autour de l'ensemble du dispositif, elle empêche l'entrée ou la sortie de chaleur et la condensation/le givrage. Le couvercle de l'isolation thermique doit être retiré pour l'expérience avec la LED afin que celle-ci puisse émettre librement de la lumière.



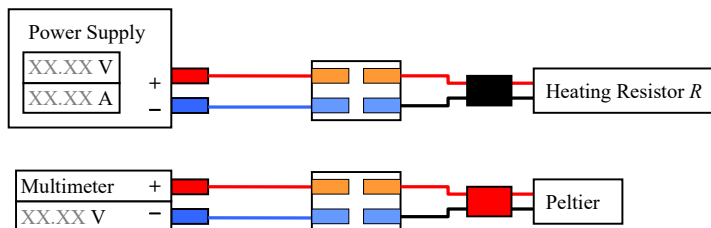
Tâche 1	Relations mathématiques (effet Peltier)	8 points
Dans cet exercice, il s'agit d'élaborer les relations mathématiques qui permettront plus tard d'évaluer les résultats des mesures.		
Tâche 1.1		
Déterminez les unités des grandeurs Π (coefficient de Peltier) et Λ (coefficient de conductivité thermique).		
Tâche 1.2		
<ul style="list-style-type: none"> a) Exprimez la différence de température ΔT dans les autres grandeurs de l'équation (2). b) Comment se comporte ΔT en fonction de I ? c) Faites un diagramme $\Delta T(I)$ pour le cas où $P_C = 0$. Calculez les points caractéristiques du graphique et reportez-les sur le croquis. d) Quelle est l'influence de P_C sur le graphique de $\Delta T(I)$? 		

Tâche 2 Effet Seebeck**10 points**

S'il existe une différence de température à travers un module Peltier, une tension électrique apparaît aux bornes de ce module, cet effet est appelé effet Seebeck.

Préparation :

Connectez l'élément chauffant à l'alimentation électrique (courant et tension au départ = 0). Ici, la polarité de la connexion n'est pas importante. La tension aux bornes du module Peltier est mesurée à l'aide d'un multimètre. Allume l'affichage/le ventilateur.

Raccordements électriques :**Tâche 2.1**

Mesurez la tension U_{Peltier} et la différence de température ΔT à travers le module Peltier pour au moins 5 puissances de chauffage P_{Heater} dans la gamme de 0 à ≤ 10 W. Notez les valeurs mesurées dans un tableau.

Remarque :

Les puissances de chauffage doivent être réparties uniformément dans la plage P_{Heater} de 0 à ≤ 10 W. Planifiez la mesure et documentez vos réflexions à ce sujet.

Tâche 2.2

Représentez graphiquement

- P_{Heater} en fonction de U_{Peltier}
- U_{Peltier} en fonction de ΔT

Tâche 2.3

Quelle est la relation entre la tension U_{Peltier} et la différence de température ΔT ?

- Exprimez cette relation sous la forme $U_{\text{Peltier}} = f(\Delta T)$.
- Dans la fonction $U_{\text{Peltier}} = f(\Delta T)$, il y a une constante. Déterminez sa valeur.

Quelle est la relation entre la tension U_{Peltier} et la puissance de chauffage P_{Heater} ?

- Exprimez cette relation sous la forme $P_{\text{Heater}} = f(U_{\text{Peltier}})$
- La fonction contient une constante. Déterminez sa valeur.

Tâche 3 Effet Peltier**13 points**

Comme décrit dans l'introduction, lorsqu'un courant électrique traverse un module Peltier, de la chaleur est transportée à travers celui-là et une différence de température apparaît. C'est cette relation qui est étudiée dans cette expérience.

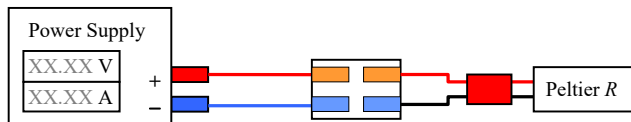
Notez que la différence de température ne s'établit pas immédiatement.

Préparation :

Raccordez le module Peltier à l'alimentation électrique : Il faut ici faire attention à la polarité ! Les câbles de l'élément Peltier ont un marquage rouge et :

- Le conducteur rouge doit être raccordé au pôle positif du bloc d'alimentation et,
- Le noir au pôle négatif.

Pour la mesure (tâche 3.1), commencez par le courant le plus faible. Allume l'affichage/le ventilateur.

Raccordements électriques :**Tâche 3.1**

Mesurez les grandeurs suivantes pour au moins 12 courants différents jusqu'à un courant de Peltier maximal de $I_P = 5$ A (les courants doivent être à peu près à la même différences) et notez :

- Les températures T_1 et T_2
- La tension aux bornes de l'élément Peltier

Attention !

- Les grands courants de Peltier ne doivent circuler que pendant une courte période.
- Pour un courant donné, les températures ne s'ajustent pas immédiatement.

Tâche 3.2

- Représentez graphiquement les données de mesure $\Delta T(I_P)$ de la tâche 3.1.
- Représentez la tension U_P aux bornes du module Peltier en fonction de I .

Tâche 3.3

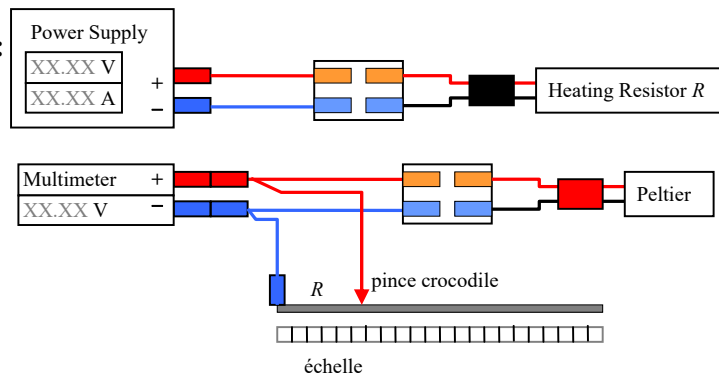
A partir des résultats de la tâche 3.2, déterminez les grandeurs Π , Λ et R en utilisant les connaissances acquises dans la tâche 1.2.

Tâche 4 Générateur thermoélectrique**12 points**

Dans cette expérience, il faut utiliser le module Peltier comme générateur thermoélectrique. Si les deux côtés d'un module Peltier sont à des températures différentes, une tension est générée à ses bornes, laquelle délivre une puissance électrique P_{Load} à une résistance de charge raccordée. Il faut déterminer la résistance de charge pour laquelle la puissance électrique est maximale (adaptation de la puissance).

Résistance de charge :

Un fil de résistance est monté sur la planche de bois. À l'une des extrémités, un câble muni d'une fiche banane peut être raccordé à une borne femelle. Une pince crocodile permet de prélever le fil à l'endroit souhaité et de choisir ainsi la résistance de charge souhaitée. Une échelle est montée sur la planche (en cm/mm).

Raccordements électriques :

- Allume l'affichage/le ventilateur.

Tâche 4.1 Caractérisation de la résistance de charge

La résistance par unité de longueur du fil est inconnue et doit être déterminée. N'utilisez pas l'ohmmètre du multimètre, car il est trop imprécis. Proposez une méthode de mesure qui s'accommode du matériel disponible et exécutez-la.

Remarque :

Le fil de résistance peut être chargé jusqu'à un courant de 1,0 A. Sa résistance est constante à différentes températures.

Tâche 4.2 Détermination de la résistance de charge optimale

On utilise le même montage que dans la tâche 2, à l'exception de ce qui suit :

- En plus de la mesure de la tension, une résistance de charge est connectée au module Peltier.

Réglez une puissance de chauffage de $P_{\text{Heater}} \sim 7 \text{ W}$, elle doit être constante pendant l'expérience.

- Déterminez la puissance électrique délivrée par le module Peltier $P_{\text{Load}}(R)$ pour différentes résistances de charge R . Pour chaque point de mesure, notez les températures T_1 et T_2 .
- Représentez graphiquement $P_{\text{Load}}(R)$ et déterminez la résistance de charge optimale (maximum de la puissance P_{Load}).

Tâche 4.3 Efficacité thermodynamique

Le générateur thermoélectrique est une machine thermodynamique à laquelle s'applique la deuxième loi de la thermodynamique. Déterminez le rendement maximal théoriquement possible au maximum de la puissance fournie (tâche 4.1) et comparez-le avec le rendement obtenu à partir des données de la tâche 4.2.

Tâche 5 Efficacité d'une LED**5 points**

Dans cette tâche, il faut estimer l'efficacité η_{LED} d'une LED par une mesure.

L'efficacité η_{LED} est définie par :

$$\eta_{LED} = \frac{\text{puissance lumineuse émise}}{\text{puissance électrique}} = \frac{P_{\text{Light}}}{P_{\text{el}}} \quad (5.1)$$

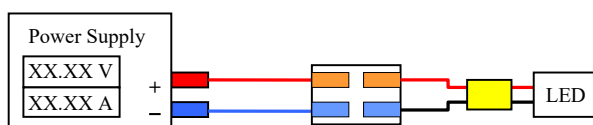
Pour simplifier, on suppose que la puissance électrique est convertie en puissance lumineuse émise P_{Light} et en puissance thermique P_{Heat} :

$$P_{\text{el}} = P_{\text{Light}} + P_{\text{Heat}} \quad (5.2)$$

La puissance thermique P_{Heat} est transférée de la LED au radiateur via le module Peltier, de la même manière que la puissance thermique de la résistance électrique dans la tâche 2.

Préparation avant la mesure :

- Le couvercle (rouge) de l'isolation thermique doit être retiré pour cette mesure afin que la LED puisse émettre librement la lumière. Le couvercle (rouge) est fixé par de petits clous dans la partie inférieure (blanche). Demandez de l'aide à le/la superviseur.se pour retirer ce couvercle.
- La LED peut être très lumineuse en fonctionnement. Une boîte en carton doit être placée sur le dispositif de mesure avant la mesure afin que personne ne soit ébloui. **Ne regardez jamais la LED lorsqu'elle est en service, elle peut être très lumineuse !**
- Faites attention à la polarité de la LED : le câble est marqué en jaune, le conducteur rouge est raccordé au pôle positif, le noir au pôle négatif du bloc d'alimentation.
- Réglez une limitation de courant de 0,9 A sur le bloc d'alimentation.
- Pour la **mesure de $I = 0$** , la tension aux bornes de la LED peut être augmentée jusqu'à ce que la limite de courant soit atteinte (c'est le cas pour une tension U_{LED} d'environ 10 V). Travaillez avec ce réglage.
- Lors des mesures thermiques, les températures ne s'établissent pas immédiatement, c'est pourquoi il faut faire preuve d'une certaine patience.
- Allume l'affichage/le ventilateur.

Raccordements électriques :**Tâche 5.1**

Effectuez la mesure et calculez à partir de celle-ci l'efficacité η_{LED} de la LED.

APPENDIX A1 Bloc d'alimentation PeakTech

Sur ce bloc d'alimentation, il est possible de régler le courant et la tension. Il est également possible de régler des limites pour la tension et le courant. La limitation de la tension ou du courant entre en vigueur en fonction de la charge raccordée.

Réglage des valeurs limites (préparation)

L'appareil est doté d'un interrupteur 'output' qui permet d'activer ou de désactiver la sortie. L'état est indiqué à l'écran par une LED rouge située au-dessus de l'inscription 'output' (affichage rouge = sortie activée).

Si la sortie est désactivée, on peut régler les valeurs limites à l'aide des deux régulateurs 'VOLTAGE' et 'CURRENT', les valeurs sont affichées à l'écran.

Les valeurs peuvent être réglées de manière grossière ou fine. La commutation entre grossier et fin se fait en appuyant sur le régulateur de la grandeur correspondante (VOLTAGE/CURRENT). Après avoir appuyé, la position sélectionnée clignote brièvement sur l'écran. Les réglages grossier et fin sont les suivants : VOLTAGE :

XX.XX ou XX.XX (par pas de 1 V ou 0.01 V)

CURRENT X.XX ou X.XXX (par pas de 0,1 A ou 0,01 A)

Fonctionnement avec une charge

Après la préparation, on peut activer la sortie en appuyant sur 'OUTPUT'. Les deux affichages numériques (bleus) indiquent maintenant la tension et le courant actuels. En fonction de la charge, l'une ou l'autre limite est atteinte. Laquelle est indiquée par l'affichage 'C.V.' (tension) ou 'C.C' (courant). Attention : si la sortie est désactivée, 'C.V.' s'allume, cela n'a pas d'importance.

Conseils

Selon la situation expérimentale, on souhaite régler soit la tension, soit le courant par étapes. Si l'on souhaite par exemple régler une série de tensions, on procède ainsi : lorsque la sortie est désactivée, on règle le courant maximal que l'on ne veut pas dépasser. On choisit la limite de la tension à 0 V. Lorsque l'on active la sortie, la tension à la sortie est de 0 V et il n'y a donc pas de courant. Les tensions souhaitées peuvent maintenant être réglées avec le régulateur 'VOLTAGE' (elles sont affichées sur l'indicateur de tension), soit par pas de 1 V, soit par pas de 0,01 V). Pour une série de courant, c'est exactement l'inverse : lorsque la sortie est désactivée, on choisit la limite de tension, et la limite de courant = 0 A.



Interrupteur d'alimentation à l'arrière !

Affichage de la tension (limite ou valeur actuelle)

Affichage du courant (limite ou valeur actuelle)

C.V Limite de tension atteinte

C.C Limite de courant atteinte

output Sortie activée

VOLTAGE Réglage de la tension

CURRENT Réglage du courant

OUTPUT Interrupteur pour la sortie (output)

Prises de connexion (la prise verte peut être ignoré)

APPENDIX A2 Bloc d'alimentation VOLTcraft LSP-1403

Sur ce bloc d'alimentation, le courant et la tension peuvent être réglés.

La sortie peut être activée ou désactivée (bouton OUTPUT ON). Lorsque la sortie est activée une LED verte s'allume. Lorsque la sortie est désactivée, 00.00 V et 0.000 A s'affichent pour la tension et le courant.

Les deux boutons rotatifs VOLT (Voltage) et CURR (Current) définissent des limites pour la tension et le courant. Pour afficher et régler les limites définies, il faut appuyer en permanence sur le bouton REVIEW.

Lorsque la charge est connectée et que la sortie est activée (bouton OUTPUT ON), la limite de tension ou de courant est atteinte en fonction de la charge. Ceci est indiqué par l'une des deux LED à droite de l'écran (C.V. vert = limite de tension, C.C. rouge = limite de courant). En fonctionnement, les limites présélectionnées peuvent être affichées à tout moment sur l'écran en appuyant sur le bouton REVIEW.

Parmi les autres boutons, il est encore important de mentionner : RANGE (trois boutons). La plage 16 V/5 A doit être sélectionnée, ce qui est automatiquement le cas après la mise en marche.

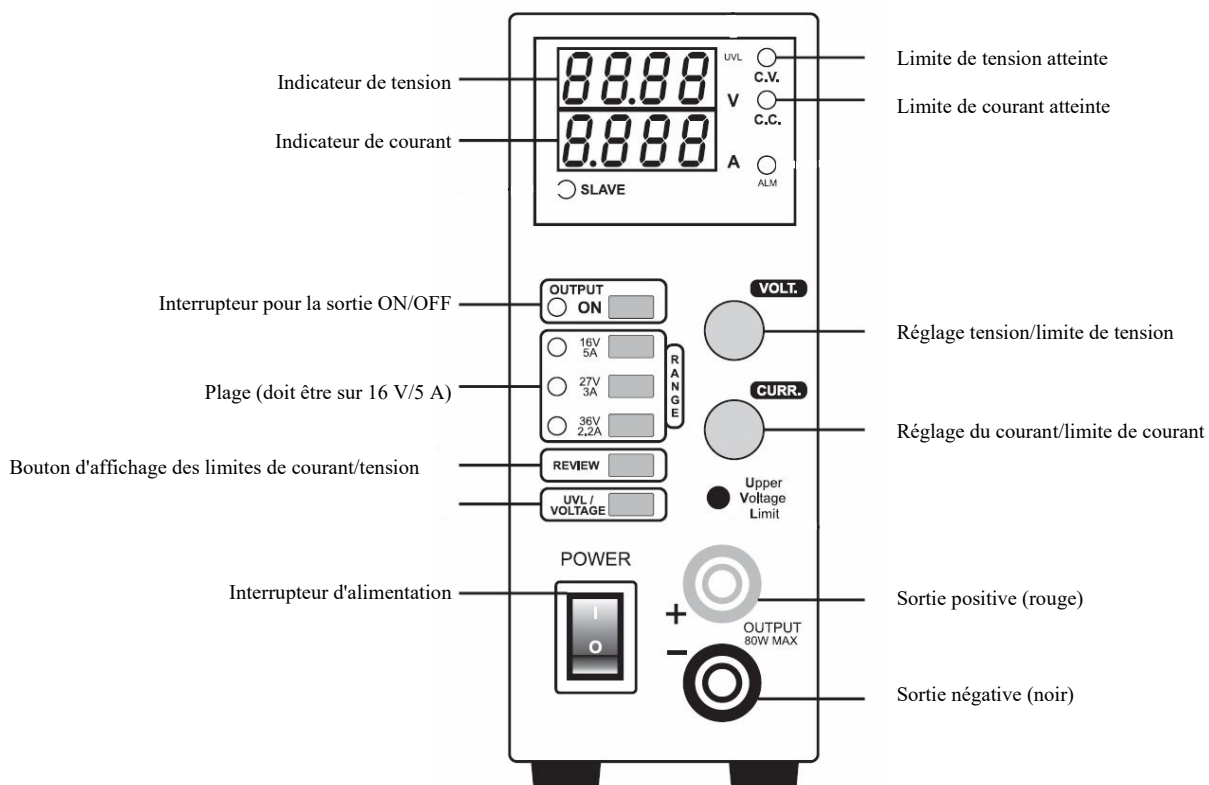
Conseil :

Selon la tâche, on souhaite régler soit la tension, soit le courant par intervalles.

Si l'on souhaite par exemple régler une série de tensions, on procède ainsi : Lorsque la sortie est désactivée, on règle un courant maximal que l'on ne veut pas dépasser (pour cela, maintenir REVIEW enfoncé !). On choisit la limite pour la tension avec 0 V. Si l'on active la sortie (avec une charge connectée), la tension de sortie est de 0 V et il n'y a donc pas de courant. Les tensions souhaitées peuvent alors être réglées avec le régulateur VOLT (la tension et le courant actuels sont affichés sur l'écran vert).

Pour une série de courants, c'est exactement l'inverse : lorsque la sortie est désactivée, on choisit la limite de tension (maintenir REVIEW enfoncé !), et la limite de courant = 0 A. Lorsque la sortie est activée, le courant peut alors être réglé progressivement sur les valeurs souhaitées.

Veuillez noter que : le courant et la tension ne peuvent pas être réglés avec une finesse de 0,01 V ou 0,001 A. Si l'on souhaite par exemple régler la tension à 2,75 V, il se peut que seules les valeurs voisines de 2,72 V et 2,84 V soient possibles. Dans ce cas, on choisit 2.72 V (et on la prend aussi comme valeur de mesure !).



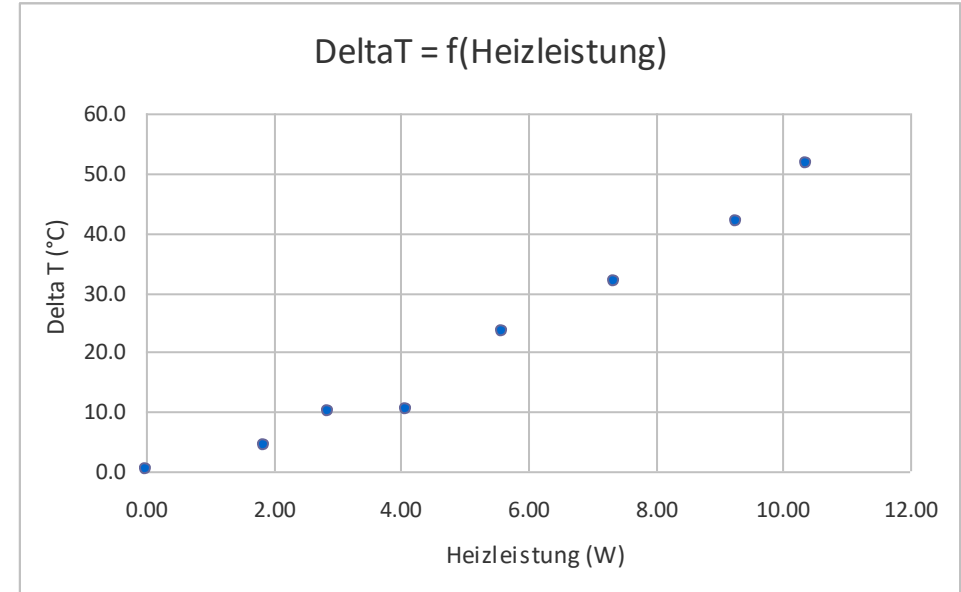
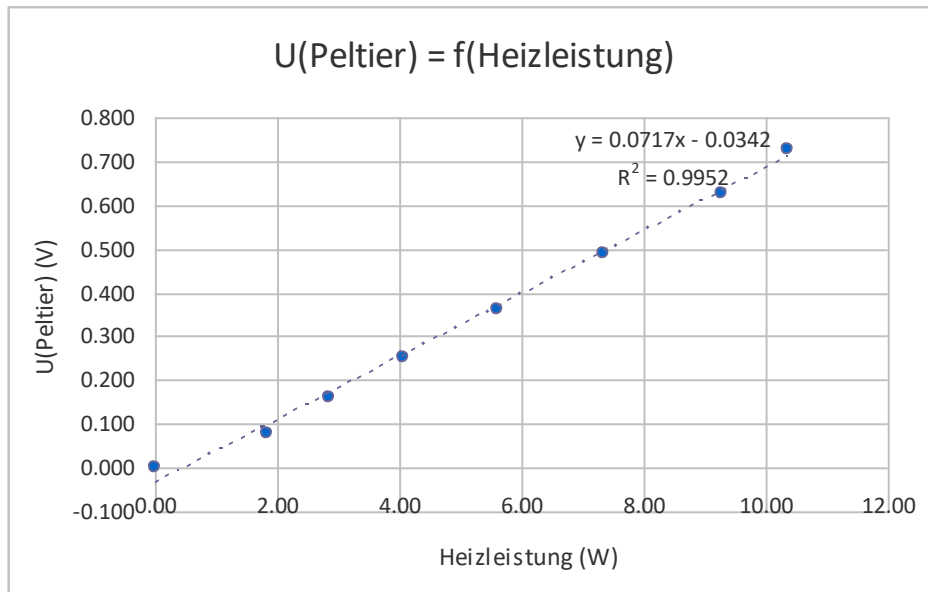
Experiment: Thermoelektrische Effekte

Aufgabe 1 Mathematische Zusammenhänge (Peltiereffekt)		8 Pt
L 1.1: $[\Pi] = W/A = V = \text{kg m}^2/(\text{s}^3 \text{A})$, $[\Lambda] = W/K = \text{kg m}^2/(\text{s}^3 \text{K})$		0.5 Pt 0.5 Pt
L 1.2: a) $\Delta T = \frac{\Pi \cdot I - \frac{1}{2} R I^2 - P_C}{\Lambda} = \frac{\Pi}{\Lambda} \cdot I - \frac{1}{2} \frac{R}{\Lambda} I^2 - \frac{P_C}{\Lambda}$	Umformung korrekt, sonst keine Pt.	Delta T 2 Pt (alles oder nichts)
<p>b) ΔT ist eine quadratische Funktion in I, mit einer Parabel als Graphen, die drei charakteristischen Grössen Scheitel und Nullstellen sind beschriftet. Diese Grössen erhält man aus (3 Möglichkeiten)</p> <div data-bbox="958 518 1317 758" data-label="Figure"> </div> <p>i) $\frac{d(\Delta T)}{dI} = 0$: $\frac{d(\Delta T)}{dI} = \frac{\Pi}{\Lambda} - \frac{R}{\Lambda} I = 0$, $I_{\max} = \frac{\Pi}{R}$, $\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \frac{\Pi^2}{\Lambda R}, \quad 2. \text{ Nullstelle } I = 2I_{\max} = 2 \frac{\Pi}{R}$</p> <p>ii) aus den bekannten Scheitelpunktsformeln, iii) elementar aus Symmetrieüberlegungen mit den Nullstellen der Funktion $\Delta T(I) = \frac{\Pi}{\Lambda} \cdot I - \frac{1}{2} \frac{R}{\Lambda} I^2 = \left(\frac{\Pi}{\Lambda} - \frac{1}{2} \frac{R}{\Lambda} I \right) I = 0$, eine NS ist trivial: $I_1 = 0$, die andere $I_2 = 2 \frac{\Pi}{R}$, ΔT_{\max} bei $I = \frac{1}{2} I_2 = \frac{\Pi}{R}$</p>	<p>Quadratische. Fkt. muss erkannt werden Parabel: nach unten offen, durch Ursprung</p> <p>Maximaler Wert von ΔT und dazugehöriger Strom müssen angegeben sein</p>	<p>b) 4 Pt</p> <p>Draw or mention parabola: 0.5 Pt</p> <p>Each quantity (Vertex, x and y coordinate, x-coordinate of zero): 0.5 pt for value, 0.25 pt if drawn, total 3 Pt</p> <p>Label x and y axis: each 0.25 pt</p> <p>If wrong zero coordinates due to calculation error: -0.5 Pt</p>
c) Parabelschar wird für $P_C \uparrow$ nach unten verschoben, siehe a) Für welches P_C ist $\Delta T = 0$?: $P_C = \frac{1}{2} \frac{\Pi^2}{R}$	Verschiebung der Parabel nach unten für $P_C > 0$	1 Pt, 0.5 Pt mentioning that it shifts, 0.5 Pt which direction

Aufgabe 2		Seebeckeffekt		10 Pt						
L 2.1	Berechnung der notwendigen Heizspannungen $P_i = \frac{P_{\max}}{n} k, \quad U_i = \sqrt{P_i R} = \sqrt{\frac{P_{\max}}{n} k R} = \sqrt{\frac{P_{\max}}{n} R} \sqrt{k}$ n = Anzahl Messpunkte (≥ 5) k = Laufindex Messpunkte ($1 \leq k \leq n$), P_{\max} = maximale Leistung R : Widerstand des Heizelements, bestimmt aus einer Messung $R = U/I$ Liste mit mindestens 5 aequidistanten Spannungswerten Für $R = 10 \, \Omega$, $P_{\max} = 10 \, \text{W}$: $U_i = 4.47/6.32/7.75/8.94/10.0 \, \text{V}$ Tabelle mit den Messresultaten <table><tr><td>U_{Heiz}</td><td>I_{Heiz}</td><td>$(P_{\text{Heiz}} \text{ berechnet})$</td><td>$T_1$</td><td>$T_2$</td><td>$\Delta T (= T_2 - T_1)$</td></tr></table>		U_{Heiz}	I_{Heiz}	$(P_{\text{Heiz}} \text{ berechnet})$	T_1	T_2	$\Delta T (= T_2 - T_1)$		4 Pt Clear table: 0.5 Pt Correct units in table: 0.5 Pt Insert I_n od U_n: 0.5 Pt Insert T^1 and T^2: 0.5 Pt Formula $U = \text{sqrt}(PR)$ or $I = \text{sqrt}(P/R)$: 1 P Aequidistant distribution of values (2, 4, ...10) or (1, 3, ...9): 1 Pt Korrekte Herleitung der mind. 5 Spannungswerte (Stromwerte werden ebenfalls akzeptiert) Korrekte Berechnung der num. Werte Vollst. Tabelle mit Messwerten
U_{Heiz}	I_{Heiz}	$(P_{\text{Heiz}} \text{ berechnet})$	T_1	T_2	$\Delta T (= T_2 - T_1)$					
L 2.2	Grafische Darstellung a) Grafik U_{Peltier} als $f(\Delta T)$ b) Grafik P_{Heater} als $f(U_{\text{Peltier}})$			Korrekte graf. Darstellung	a) 1 Pt b) 1 Pt subtract 0.5 Pt for: <ul style="list-style-type: none">- False/no units- Up/W on the x-axis- No/unclear image					
L 2.3	Der Student muss selbst erkennen, dass $\Delta T = T_2 - T_1$ ist, Berechnung in der Tabelle Aufgabe 2.1 a) Aus den Grafiken erkennt man klar einen linearen Zusammenhang $U = S \cdot \Delta T$ b) die Konstante ist der Proportionalitätsfaktor S $[S] = \text{V/K}$ mit der Steigung der besten Geraden aus L 2.2 a) für S Angabe der Werte mit korrekten Einheiten und sinnvollen SZ. c) Aus den Grafiken erkennt man klar einen linearen Zusammenhang $P_{\text{Heater}} = K \cdot U_{\text{Peltier}}$				a) 1 Pt Correct formula $y = mx$ 1Pt Subtract 0.5 Pt for y-intercept $y = mx + q$, q not 0 b) 1 Pt Solution with derivation (no					

<p>d) die Konstante ist der Proportionalitätsfaktor K $[K] = V/W$ mit der Steigung der besten Geraden aus L 2.2 b) für K Angabe der Werte mit korrekten Einheiten und sinnvollen SZ.</p>		<p>matter whether slope or compare max difference). Subtract 0.5 Pt if no units and subtract 0.5 Pt if no derivation</p> <p>c) 1 Pt Correct formula $y = mx$ 1Pt Subtract 0.5 Pt for y-intercept $y = mx + q$, q not 0</p> <p>d) 1 Pt Correct formula $y = mx$ 1Pt Subtract 0.5 Pt for y-intercept $y = mx + q$, q not 0</p>
---	--	---

Heizung I (A)	Heizung U (V)	Peltier- Element U-Peltier (V)	Heizung P=U*I (W)	2.5 min warten, bis Ablesung		
				T _c (°C)	Th (°C)	DeltaT (°C)
0.00	0.00	0.000	0.00	21.9	22.2	0.3
0.40	4.60	0.076	1.84	22.7	27.1	4.4
0.50	5.70	0.159	2.85	23.2	33.2	10.0
0.60	6.80	0.252	4.08	23.6	33.9	10.3
0.70	8.00	0.361	5.60	24.2	47.6	23.4
0.80	9.20	0.489	7.36	24.9	56.9	32.0
0.90	10.30	0.625	9.27	25.9	67.7	41.8
0.95	10.90	0.728	10.36	26.7	78.4	51.7

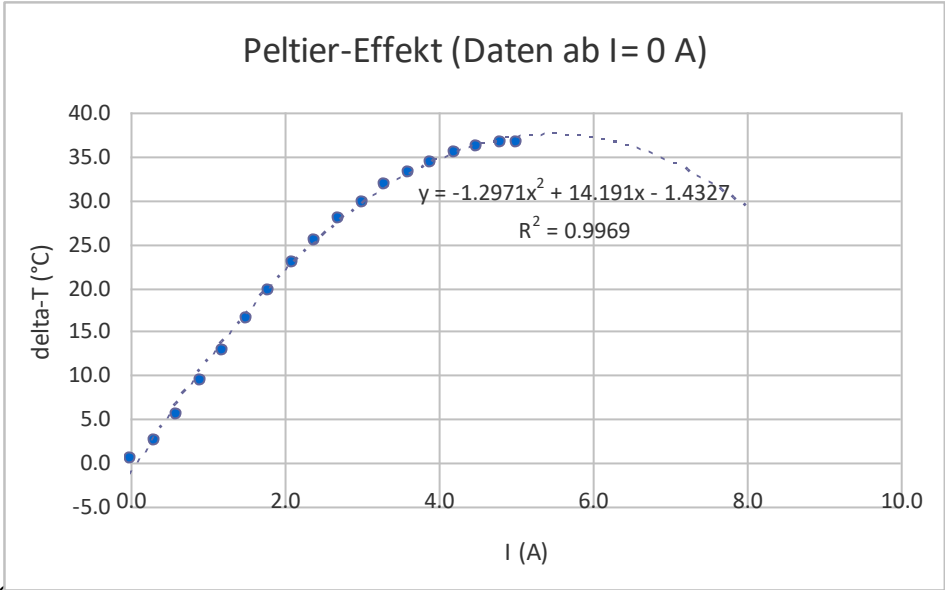


Aufgabe 3 Messung des Peltiereffekts		13 Pt
<p>L 3.1</p> <p>Tabelle mit Messresultaten, sauber dargestellt</p> <p>Mind. 12 Messwerte I_{Peltier} U_{Peltier} T_1 T_2 daraus $\Delta T = T_1 - T_2$</p> <p>Bemerkung das Vorzeichen von ΔT ist unwichtig</p>		<p>4 Pt:</p> <p>0.2 pt per reasonable measurement, up to 2.4</p> <p>0.6 table with correct labels and units</p> <p>1 pt for measurements spread over a range of at least 4.5A</p>
<p>L 3.2</p> <p>a) Grafische Darstellung $\Delta T = f(I_{\text{Peltier}})$</p> <p>b) Grafische Darstellung $U_{\text{Peltier}} = f(I_{\text{Peltier}})$</p> <p>Achsen beschriftet, Einheiten, saubere Darstellung</p>		<p>a) 1.5</p> <p>b) 1.5</p> <p>For each: 0.3 data correctly plotted, 0.3 axes labels, 0.3 units, 0.3 size of plot, 0.3 axes drawn with ruler</p>
<p>L3.3</p> <p>Es muss erkannt werden, dass man Messpunkte bis etwa zum Scheitel der Parabel hat. Mit den Erkenntnissen aus der Aufgabe 1.2 kann man aus der Grafik herauslesen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Strom I_{max} für das Maximum von ΔT Maximum von ΔT <p>Aus diesen Werten kann man bestimmen</p> <ul style="list-style-type: none"> Den Widerstand R kann man aus der Steigung der Grafik Aufgabe 3.2/b) bestimmen Π: Strom I_{max} für ΔT_{max}: $I_{\text{max}} = \Pi/R$, $\Pi = R \cdot I_{\text{max}}$ <p>Λ: $\Delta T_{\text{max}} = \frac{1}{2} \Pi^2 / (\Lambda R)$, $\Lambda = \frac{1}{2} \frac{\Pi^2}{\Delta T_{\text{max}} R}$</p>		<p>6 Pt</p> <p>1 pt value of R</p> <p>2 pt idea to compute Π and Λ</p> <p>0.5 pt correct eq for Π</p> <p>0.5 pt correct eq for Λ</p> <p>1 pt value of Π with units</p> <p>1 pt value of Λ with units</p>

Resultate Aufgabe 3

#	I (A)	U (V)	Tc (°C)	Th (°C)	DeltaT (°C)	R=U/I (Ohm)
1	0.0	0.00	22.1	22.6	0.5	#DIV/0!
2	0.3	0.26	20.1	22.7	2.6	0.87
3	0.6	0.51	17.1	22.7	5.6	0.85
4	0.9	0.81	13.4	22.7	9.3	0.90
5	1.2	1.05	9.7	22.6	12.9	0.88
6	1.5	1.34	5.9	22.4	16.5	0.89
7	1.8	1.60	2.7	22.4	19.7	0.89
8	2.1	1.86	-0.4	22.4	22.8	0.89
9	2.4	2.11	-2.8	22.6	25.4	0.88
10	2.7	2.35	-5.1	22.9	28.0	0.87
11	3.0	2.61	-6.9	22.9	29.8	0.87
12	3.3	2.85	-8.4	23.4	31.8	0.86
13	3.6	3.11	-9.6	23.6	33.2	0.86
14	3.9	3.36	-10.4	23.9	34.3	0.86
15	4.2	3.63	-10.6	24.9	35.5	0.86
16	4.5	3.90	-10.8	25.4	36.2	0.87
17	4.8	4.18	-10.6	25.9	36.5	0.87
18	5.0	4.38	-10.1	26.4	36.5	0.88

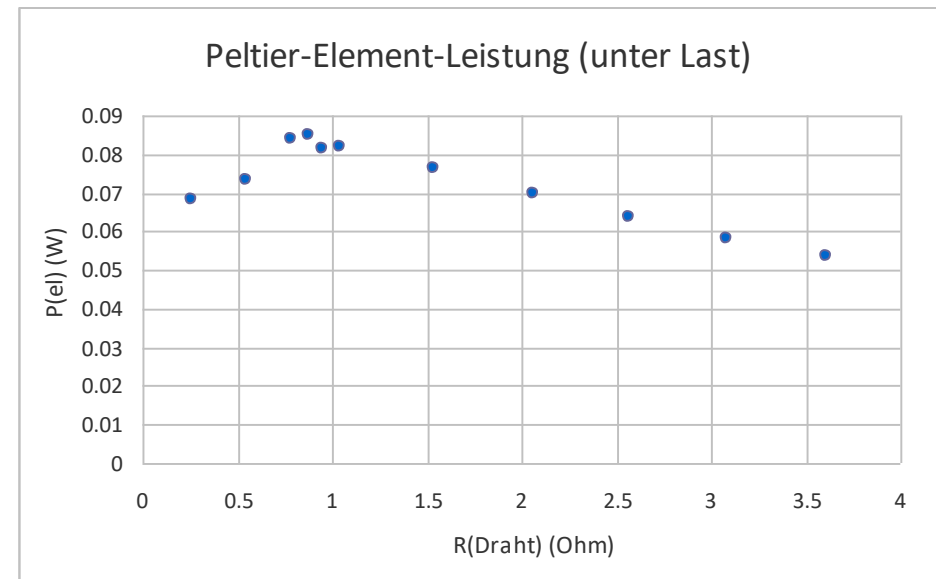
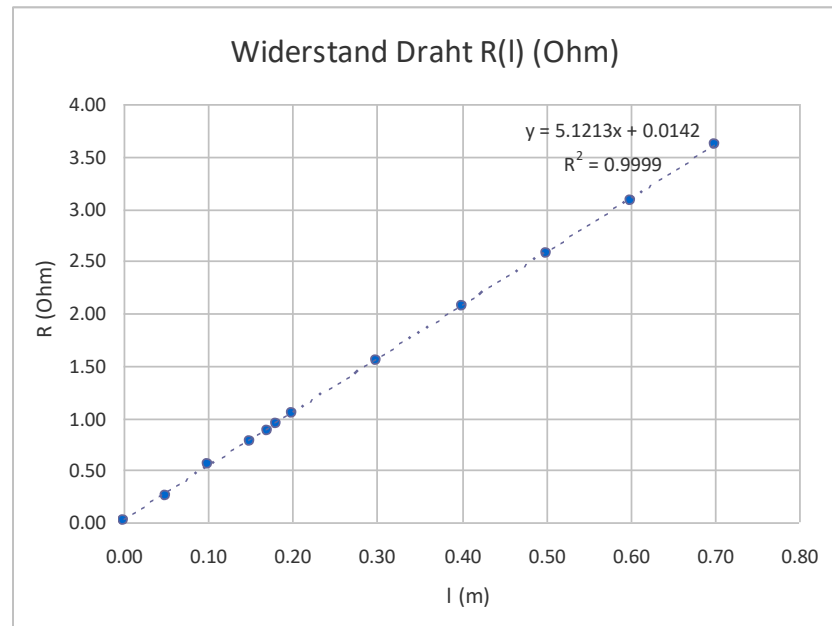
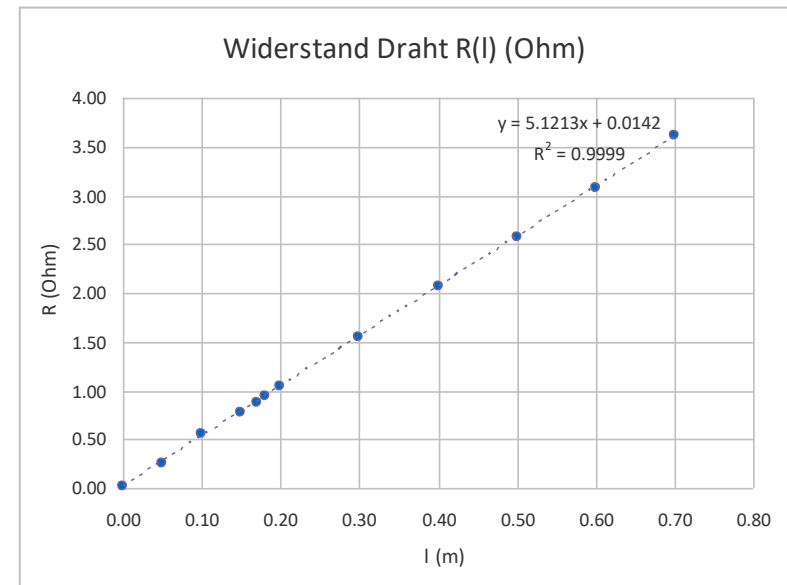
Peltier-Koeffizient:	4.18
I(max)*R	
(W/A = V)	
Wärmeleitungskoeffizient	0.27
(Imax*R/(2*DeltaTmax))	
(W/K)	



Aufgabe 4 Thermoelektrischer Generator		12 Pt
<p>L 4.1 Ausmessung des Widerstandsdrahts: Der Widerstandsdraht wird an das Netzgerät angeschlossen: ein Anschluss an der Buchse, der 2. mit der Krokodilklemme möglichst weit von der Buchse entfernt (Abstand zur Bananenbuchse).</p> <p>Man notiert</p> <ul style="list-style-type: none"> • Den Strom I gemessen mit dem Netzgerät (typ. 1 A) • Die Spannung U gemessen mit dem Netzgerät • Die Länge d des Drahts zw. Buchse und Krokodilklemme. <p>Daraus kann man den spez. Widerstand/Länge R^* berechnen</p> $R^* = \frac{U / I}{d}$ <p>Der Wert ist typisch 7.5 Ω/m oder praktischer 0.075 Ω/cm.</p> <p><i>Etwas aufwendigere Methode:</i></p> <p>Wiederum mit einem Messstrom von $I = \text{typ. 1 A}$. Man bestimmt für eine Reihe von Distanzen d von der Buchse entfernt die Spannungen U über der Widerstandstrecke. Die grafische Darstellung ergibt eine gute Gerade. Aus der Steigung kann R^* bestimmt werden. Eine allfällige Abweichung von einer Ursprungsgeraden deutet auf Widerstand der Kabel und Kontaktwiderstände hin, diese sollten aber typ. nicht grösser als 0.05 Ω sein.</p>		<p>2 Pt</p> <ul style="list-style-type: none"> - Measurement (no matter how many): 0.5 Pt - $Rho = U/(I \cdot d)$ (give points if obviously used but not explicitly stated): 0.5 Pt - Value between 7 and 8 ohm/m: 0.5 Pt - Get value with a method removing offset, usually linear regression (offset corresponds to resistance in banana cable): 0.5 Pt
<p>L 4.2 (a) Tabelle mit Messresultaten Position X_{Klemme}, daraus berechnet R_{Load}, U_{Peltier}, daraus berechnet $I_{\text{Load}} = U_{\text{Load}} / R_{\text{Load}}$, $P_{\text{Load}} = U_{\text{Peltier}} \cdot I_{\text{Load}}$</p> <p>(b) Grafik $P_{\text{Load}} = f(R_{\text{Load}})$ mit Achsenbeschriftung Bestimmung Maximum von P_{Load}</p>		<p>a) 4.5 Pt</p> <ul style="list-style-type: none"> - 0.5 Pt for entering each of the following quantities: <ul style="list-style-type: none"> - position - resistance - U_{peltier} or U_{Load} - current (if directly used for power, give this point as well) - P_{Load} (note, this is power drop over the peltier element, see definition aside) - T1 - T2 <p>Number of data points: of less than 6: 0Pt, between 6 and 8 (incl 6 and 8): 0.5 Pt, more than 8: 1 Pt</p>

		b) 1.5 Pt each axis: <ul style="list-style-type: none"> - Labelling: 0.25 Pt - Units: 0.25 Pt Marking the maximum: 0.5 PT
L 4.3 (prov. Werte), Rechnung mit absoluten Temperaturen Theoretisch möglicher WG $\frac{T_{\text{heiss}} - T_{\text{kalt}}}{T_{\text{heiss}}} = \frac{60 - 22}{60 + 273} = 0.11$ Im Experiment erreicht ca. 0.013 Das sind etwa 11 % des theoretisch möglichen WG Bemerkung: Bei zunehmender Belastung nimmt die Temperaturdifferenz über dem Peltierelement leicht ab, der thermoelektrische Generator arbeitet also nicht bei konstanter Temperaturdifferenz, dieser Effekt wird aber nicht berücksichtigt. Für die Berechnung des gemessenen Wirkungsgrades sollten aber die Temperaturwerte beim Leistungsmaximum verwendet werden. Die maximale Leistungsabgabe (Leistungsanpassung!) wird etwa erreicht, wenn der Lastwiderstand = dem Innenwiderstand des Peltierelementes ist.		4 Pt: <ul style="list-style-type: none"> - (T_h-T_l)/T_h: 0.5 Pt - Using absolute Temperature: 0.5 Pt - Obtain a value (corresponding to measurement): 0.5 Pt - P_{Load}/P_{heat}: 1 Pt - Value: 0.5 Pt - Ratio of the measured and effective efficiency: 1 Pt

ssstab	Netzgerät	Voltmeter		
	I (A)	U (V)	R=U/I (Ohm)	R/I (Ohm/m)
0.00	1.50	0.02	0.01	#DIV/0!
0.05	1.50	0.39	0.26	5.20
0.10	1.50	0.82	0.55	5.47
0.15	1.50	1.17	0.78	5.20
0.17	1.50	1.32	0.88	5.18
0.18	1.50	1.42	0.95	5.26
0.20	1.50	1.56	1.04	5.20
0.30	1.50	2.31	1.54	5.13
0.40	1.50	3.09	2.06	5.15
0.50	1.50	3.85	2.57	5.13
0.60	1.50	4.62	3.08	5.13
0.70	1.50	5.42	3.61	5.16



4.3: Wirkungsgrad	(maximal)		
[Zeit: 5-10 min]	Experimentell:	Theoretisch: Th=62°C, Tc=24°C	
	P(el)/P(Heiz)	(Carnot)	
	0.0121	0.113	

Aufgabe 5 Messung der Effizienz einer LED		5 Pt
<p>(a) aus $P_{\text{elektrisch}} = P_{\text{Licht}} + P_{\text{Wärme}}$ erhält man $P_{\text{Licht}} = P_{\text{elektrisch}} - P_{\text{Wärme}}$ und damit</p> $\eta_{\text{LED}} = \frac{\text{abgestrahlte Lichtleistung}}{\text{elektrische Leistung}} = \frac{P_{\text{Light}}}{P_{\text{el}}} = \frac{P_{\text{el}} - P_{\text{Heat}}}{P_{\text{el}}}$ <p>P_{el} erhält man direkt aus $P_{\text{el}} = I_{\text{LED}} U_{\text{LED}}$</p> <p>$P_{\text{Wärme}}$ wird an das Peltierelement abgegeben und erzeugt einen Temperaturgradienten über dem Peltierelement, und damit eine Spannung U_{Seebeck} (siehe Aufgabe 2). In Aufgabe 2 wurde P_{therm} als Funktion der Spannung U_{Peltier} über dem Peltierelement dargestellt, damit kann man P_{therm} bestimmen</p> <p>mit der Beziehung</p> $\eta = \frac{P_{\text{el}} - P_{\text{Heat}}}{P_{\text{el}}}$ <p>kann die die Effizienz η berechnet werden.</p>		<p>1 pt: measurement of U,I over LED and U_pel or T_2-T_1</p> <p>1pt $P_{\text{el}} = I_{\text{LED}} U_{\text{LED}}$</p> <p>1pt use part 2 to get $P_{\text{th}}/U_{\text{pel}}$ or $P_{\text{th}}/(T_2 - T_1)$</p> <p>1pt compute P_{th}</p> <p>1pt Compute efficiency</p>

Messwerte

Seebeckeffekt $P = 9.87 \text{ W}$, $U_{\text{Pel}} = 0.79 \text{ V}$

Koeffizient $P/U_{\text{Pel}} = 12.5 \text{ A}$

LED $U = 10.86 \text{ V}$, $I = 0.898$, $P = 9.75 \text{ W}$
 $U_{\text{LED}} = 0.61 \text{ V}$ daraus folgt Wärmeleistung $P_{\text{th}} = 0.61 \text{ V} \cdot 12.5 \text{ A} = 7.6 \text{ W}$
 $P_{\text{Licht}} = P_{\text{el}} - P_{\text{th}} = 2.1 \text{ W}$

Effizienz = $P_{\text{Licht}} / P_{\text{el}} = 2.1 \text{ W} / 9.75 \text{ W} = 0.219$, also **21.9%** (sinnvolle Angabe 2 SZ: 22 %)

Bemerkung:

Literaturwerte sind nicht einfach zu finden. Es werden eher höhere WG angegeben (25% bis 35%, oder gar mehr), meist aber ohne Angabe, ob die LED weiss oder farbig ist. Unsere Messung ist sicher nicht sehr genau. Dennoch liegt der berechnete Werte nicht grob daneben.